

出國報告（出國類別：其他）

赴美國參加 2015 Fuel Ethanol Workshop
& EXPO 國際會議與參訪 POET 生質精
煉廠

服務機關：核能研究所

姓名職稱：鄭祥龍 助理研發師

派赴國家：美國

出國期間：104 年 5 月 31 日~104 年 6 月 6 日

報告日期：104 年 7 月 6 日

摘要

本次出國公差行程主要為參訪 POET 生質精煉工廠以及參加 31thInternational fuel ethanol workshop & EXPO，行程共計七天，本次會議及參訪行程由 BBI international 公司策劃主辦，會議共分為四個主題：生產營運(Production & Operations)、風險及財務管理(Leadership & Financial Management)、副產品及加值化策略之導入(Coproducts & Product Diversification)、纖維及先進燃料發展進程與經濟性(Cellulosic & Advanced Ethanol)等四大主題，每項主題皆集結了燃料酒精產業及專家共同討論燃料酒精未來在政策、技術及產業化推廣的走向，內容涵蓋政策、料源、技術、市場及財務等相關燃料酒精產業化的全方位議題；本次工廠參訪由 POET 公司帶領前往美國明尼蘇達州觀摩生質酒精廠的實際運作狀況，由解說和對談中汲取生質酒精廠運轉之經驗，在本篇報告中將匯整會議與工廠參觀中所談論到的重要訊息，期能提供實質的啟發與參考。

目前美國以一代生質酒精作為主軸生產方式，其主要原料以糧食為主，為減少一代生質酒精之料源風險，如：單一料源價格飆升、特定地區或國家糧食短缺等等，二代纖維酒精技術仍是一項需產業化的技術，但因技術成本較高，初期可評估共構模式建廠，以取得獲利為首要目標，再考量技術精進。而世界各國所擁有之天然資源、人民生活型態、政治環境不盡相同，於落實技術推廣與產業化的同時，須先評估地區或國家的風土民情與天然資源分布狀況，訂定適當的建廠模式。

目 次

摘 要	i
一、目 的	1
二、過 程	2
三、心 得	45
四、建 議 事 項.....	48
五、附 錄	50

圖 目 錄

圖 1 與會之贊助廠商.....	4
圖 2 與會之贊助廠商與媒體.....	5
圖 3 圓桌會議.....	9
圖 4 DuPont 纖維酒精廠概述圖	10
圖 5 DuPont 纖維酒精廠	10
圖 6 Abengoa Bioenergy 酒精生產廠俯視與夜照圖.....	11
圖 7 POET—DSM 纖維酒精商轉廠	12
圖 8 Zein 萃取精煉廠.....	13
圖 9 展覽會場之玉米及其副產品.....	15
圖 10 酵素成本預估圖.....	17
圖 11 Spirizyme®酵素作用示意圖.....	18
圖 12 Valicor 公司副產品增值製程.....	19
圖 13 副產品售價分析.....	20
圖 14 副產品獲利分析.....	20
圖 15 Popcorn effect 示意圖.....	21
圖 16 FHP DDGs 成本分析圖	23
圖 17 類胡蘿蔔素製程.....	24
圖 18 紅酵母菌發酵成果.....	25

圖 19 二代纖維酒精投資成本示意圖	27
圖 20 產品投資指標	28
圖 21 主題演說現場	28
圖 22 XyloFerm®T13 發酵測試結果	31
圖 23 GreenField 前處理設備	33
圖 24 二代纖維酒精廠運作示意圖	35
圖 25 興建中之二代纖維酒精廠	35
圖 26 一、二代共構廠示意圖	36
圖 27 連續運轉之結果	39
圖 28 POET Biorefining 樣品	40
圖 29 NASCAR 現場展示	43
圖 30 Minnoco 品牌的汽油價格	44

表 目 錄

表 1 出差行程表.....	2
表 2 生質燃料需求表 (US E.P.A.).....	7

一、目的

核研所配合國家生質能推動政策，應用農林廢棄物等纖維原料開發自主生產纖維酒精及低碳副產品之技術與能力，期協助發展纖維酒精及其衍生相關產品之產業，迄今已建立非糧生質原料解聚技術應用於纖維酒精及其副產品生產之製程設計。並持續以落實技術產業化為主要目標。然生質能源技術之產業化除了需考量技術本身之競爭力外，尚涉及政策支持工具、市場導入策略、財務需求、技術創新及副產品開發整合等諸多非技術面之因素；為進一步開拓及強化技術產業化之應用，奉派參加由 BBI international 舉辦的 31th International fuel ethanol workshop & EXPO，期藉由研習國外生質酒精技術推廣及產業化的最新發展趨勢及推動經驗，作為未來持續進行非糧生質原料解聚之技術推廣的參考借鏡，並觀摩全球酒精生產業者及專家學者對於現今酒精產業的品質及產率最佳化的專業看法，從最新的燃料酒精生產技術發展產出成果以及參觀酒精產業設備，了解現階段國際對於生質酒精技術移轉及產業化推廣的現況、發想與策略。

二、過程

本次公差赴美國明尼亞波利斯(Minneapolis, USA)參加第 31 屆國際燃料酒精產業研討暨博覽會(31th International fuel ethanol workshop & EXPO)，本次公差行程自民國 104 年 5 月 31 日起至民國 104 年 6 月 6 日止，總計共 7 日，行程規劃大致如下表所示。

表 1 出差行程表

日期	工作內容概述	地點
104/5/31	去程	桃園機場－明尼亞波利斯
104/6/1	參加 31 th International fuel ethanol workshop & EXPO	明尼亞波利斯
104/6/2	參加 31 th International fuel ethanol workshop & EXPO	明尼亞波利斯
104/6/3	參加 31 th International fuel ethanol workshop & EXPO	明尼亞波利斯
104/6/4	參訪 POET 生質精煉廠	明尼蘇達州水晶湖區
104/6/5-6/6	回程	明尼亞波利斯－桃園機場

本次公差行程詳述如下：

第一天：

5月31日(星期日)：去程(桃園機場－洛杉磯機場－明尼亞波利斯)

第二天：

6月1日(星期一)：註冊、報到、蒐集並整理產業博覽會相關資料與廠商 DM。本次與會之贊助與參展廠商相當繁多，舉凡自工廠設備廠商、酒精製造廠商、生物技術開發公司、報章雜誌媒體等等均一同共襄盛舉，大致列出如下圖所示，數間知名國際大廠皆有參與，如杜邦、Enogen、Inbicon、POET 等等。

其中 POET 公司算是在生質燃料(biofuels)產業領域中的領先者之一，其在生質燃料的生產、研發、工程化、市場銷售等層面均有相當不錯的成果，共擁有 27 座生質精煉廠，每年約可生產 16 億加侖的生質酒精和 90 億磅的玉米酒粕(Distillers grains)；近來與帝斯曼集團合資(POET-DSM)將於美國愛荷華州設立一座纖維酒精的商轉廠。

Platinum Level Sponsors



Gold Level Sponsors



Silver Level Sponsors



圖 1 與會之贊助廠商



Supporting Organizations



Media Partner



Produced By



圖 2 與會之贊助廠商與媒體

第三天：

6月2日(星期二)：參加開幕儀式、主軸座談會(keynote presentation)、圓桌會議(Ethanol Producer Roundtable: Moving Forward with Renewed Certainty)、主題演說(concurrent track)。

開幕儀式由 Tim Portz (*Ethanol Producer Magazine* 的執行編輯)主持並歡迎各家廠商與媒體前來，本次邀請的演講貴賓有 Bob Dinneen (再生燃料協會(Renewable Fuels Association)的執行長)、Brooke Coleman(先進酒精委員會(Advanced Ethanol Council)的常務理事)，分別針對酒精燃料於美國當地的發展、政策導向，纖維酒精的未來走向作說明。以下將演說的內容稍做歸納：美國國家環境保護局(US Environmental Protection Agency, EPA)在今年五月底時發表了一項有關未來三年生質燃料需求的提案(2014, 2015, 2016 RFS volume requirements)，其主要內容如下所示，根據演說者的陳述，此一提案的需求量遠低於美國國會提出的法定需求量，舉例來說，美國國家環境保護局提出 2015 年總需求量是 163 億加侖，而法定需求量則是 205 億加侖，且其中應有 30 億加侖來自於纖維生質燃料(cellulosic biofuel)，55 億加侖來自於先進生質燃料(advanced biofuel)；而 2016 年總需求量是 174 億加侖，但法定需求為 222.5 億加侖。對於燃料酒精生產業者來說，雖然美國國家環境保護局的提案中需求量看似每年成長，但仍低於法定需求量，這對於燃料酒精的生產與銷售無疑是一項重大打擊，然而對於此現象，美國國家環境保護局的說法卻是美國大眾對於摻混更高比例的酒精汽油需求並不高，如 E-85、E-30(現行摻混比例為 10%=E-10 酒精汽油)，講者對於美國國家環境保護局的此一說法相當不以為然，他們認為美國國家環境保護局的此項提案限制了酒精產業的發展，提案中並沒有明確的指示究竟是否應發展及推廣 E-10、E-15 或是更高摻混比例的酒精汽油，使得一般美國民眾均能接受並使用酒精汽油，達到減碳並降低溫室氣體排放的目的。講者表示訂定出較低的

需求量無形中抑制了燃料酒精的產能目標，也限制了近期酒精生產業者嘗試推廣的 E-15 酒精汽油的銷售成長，同時也會使投資者的信心產生挫敗，影響整體產業的發展。另外講者也提到美國國家環境保護局所提出的政策及數據分析等等，立場稍微偏於傳統石油、石化公司，這些公司對於能源政策的訂定具有極大的影響力。個人認為生質酒精在美國的技術發展及年產量已經有一定的水準，且已可正式地在市場上販售，但很明顯地在美國的運輸用燃料，其銷售市場、利潤以及政策保護方面，無疑是石油、石化產業與燃料酒精產業兩派人馬的一場戰爭。最後講者表示為求永續發展且減少碳排放，燃料酒精生產業者需要的是有銷售機會的市場，以及明確推廣的政策，政府在政策的訂定上，如稅制保護等等，不宜過於偏頗傳統石油化學能源產業。在推廣上應對民眾進行教育，破除酒精汽油的種種迷思，使民眾願意接受並購買酒精汽油。

表 2 生質燃料需求表 (US E.P.A.)

Proposed Renewable Fuels Volumes

	2014	2015	2016	2017
Cellulosic biofuel	33 mill gal	106 mill gal	206 mill gal	n/a
Biomass-based diesel	1.63 bill gal	1.70 bill gal	1.80 bill gal	1.90 bill gal
Advanced biofuel	2.68 bill gal	2.90 bill gal	3.40 bill gal	n/a
Total renewable fuel	15.93 bill gal	16.30 bill gal	17.40 bill gal	n/a

主軸座談會結束後，緊接著參加酒精生產業者的圓桌會議，主持人為 Tom Bryan(BBI 國際出版社總裁以及 Ethanol Producer Magazine 總編輯)，本次圓桌會議主旨在於邀請數家國際企業之負責人或總裁一同討論並交流彼此對於美國國內燃料酒精政策的心得與感想，以及說明在拓展酒精燃料(如：E-15 或是更高摻混比例)的銷售市場過程中產業界的積極作為，另外也請業者透露面臨石油公司從各層面給予的衝擊，該如何突破困境另覓出路。本次參與會議的嘉賓如下：

Paul Koehler, (Pacific Ethanol 副總裁)

Mike Jerke, (Guardian Energy 執行長)

Jan Koninckx, (DuPont Industrial Biosciences 先進生質燃料全球事務處長)

Chris Standlee, (Abengoa Bioenergy 執行副總裁)

Dan Cummings, (POET – DSM Advanced Biofuels 總裁)

Ray Defenbaugh, (Big River Resources 執行長與董事長)



圖 3 圓桌會議

Pacific Ethanol 在美國西部地區擁有四座生質精煉廠同時在生產燃料酒精，四座總年產量大約 2 億加侖，且精煉廠設置之位置與客戶需求較近，因地利之便而能有更低的運輸成本目前主力放在拓展美國中西部之市場。

Guardian Energy 是在明尼蘇達州當地的生質酒精生產業者，旗下有一座年產能 1 億加侖的酒精生產廠在 Janesville, MN。主要供應明尼蘇達州南部的一般大眾使用。

DuPont 公司預計在美國設置一座二代纖維酒精廠，其主要原料來自於玉米稈(corn stover)，目前正在建置中，預計完成建設並全面運轉後每年將可生產約 3000 萬噸的纖維酒精。並且聲稱可以提供當地約 1000 個工作機會、500 個農夫所種植的原料可被利用，其玉米的供應面積約有 81.5 萬英畝，詳細資訊如圖所示。

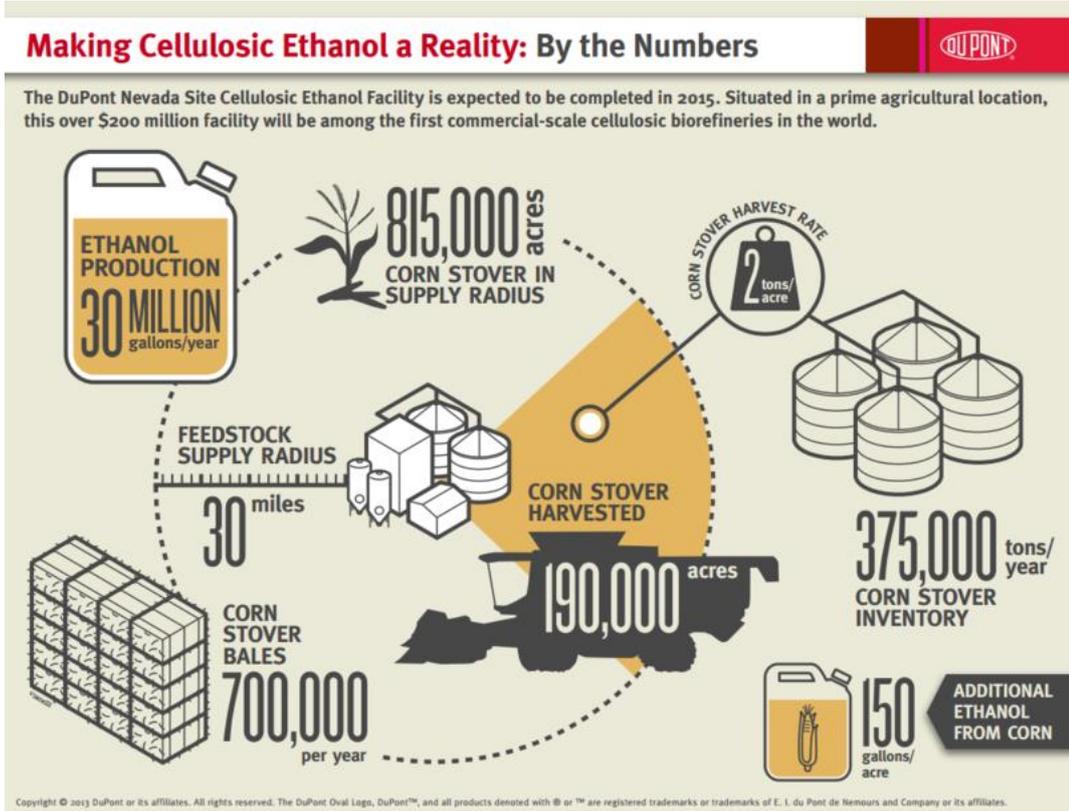


圖 4 DuPont 纖維酒精廠概述圖

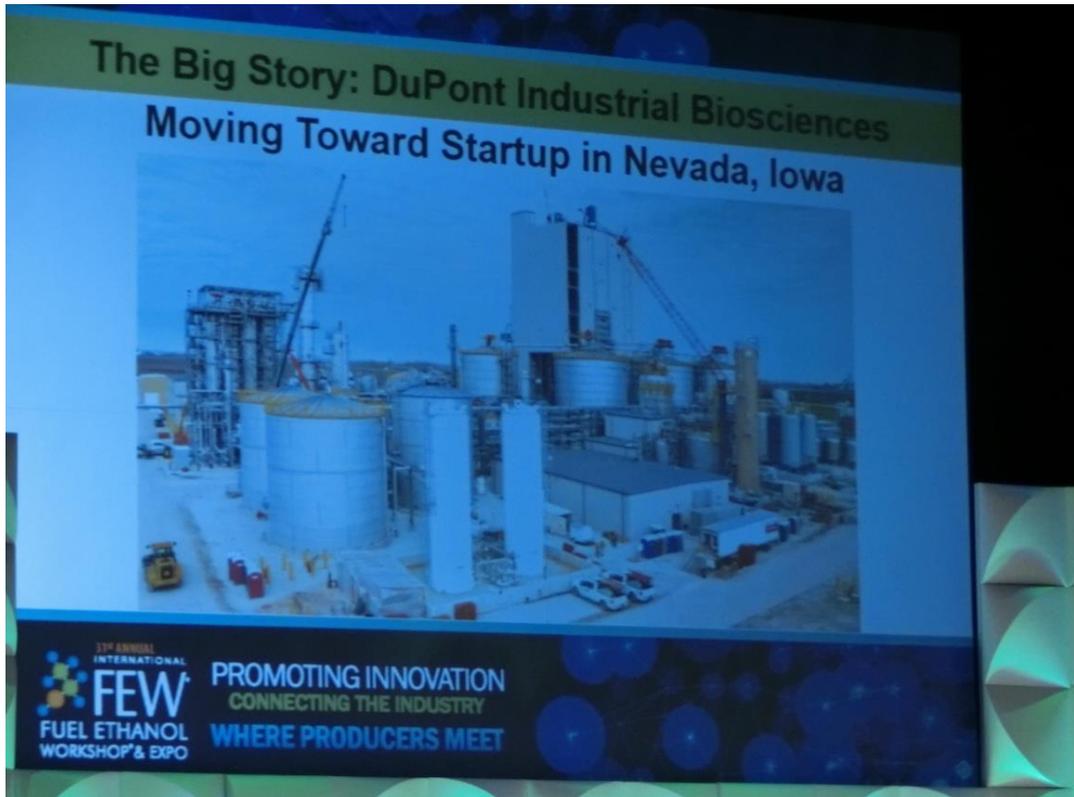


圖 5 DuPont 纖維酒精廠

Abengoa Bioenergy 是一家跨國的能源企業，其主要產業為再生能源，在美國共設有七座生質酒精生產廠，個別年產量約 2500~9000 萬加侖，採用的原料多以玉米及高粱為主，除了酒精以外，另有酒粕等作為副產品販售，副產品大部分利用於動物飼料的營養添加劑，其中在 2013 年設立於美國堪薩斯州的酒精生產廠主要以農業、林業廢棄物及非糧食作物作為料源，同時生產生質燃料與電力。

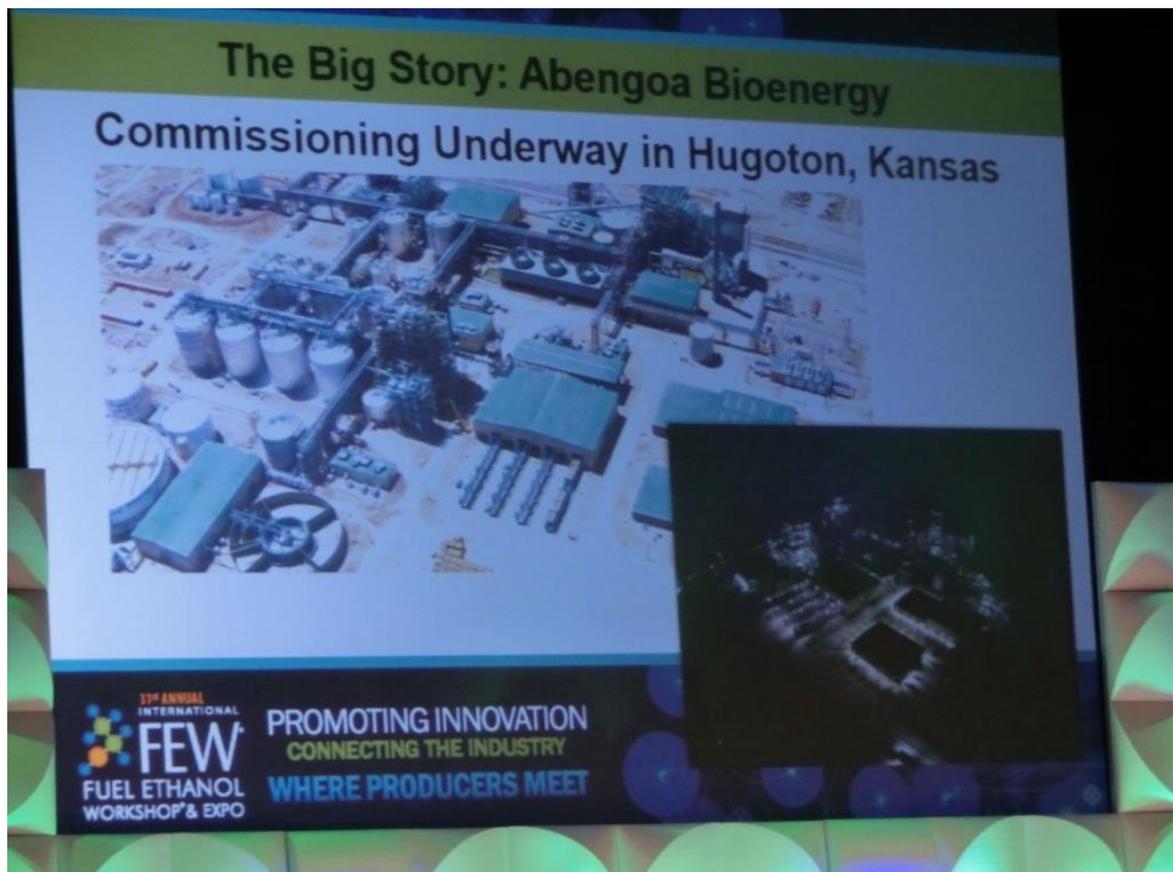


圖 6 Abengoa Bioenergy 酒精生產廠俯視與夜照圖

POET 公司算是在生質燃料(biofuels)產業領域中的領先者之一，其在生質燃料的生產、研發、工程化、市場銷售等層面均有相當不錯的成果，共擁有 27 座生質精煉廠，每年約可生產 16 億加侖的生質酒精和 90 億磅的玉米酒粕(Distillers grains)；近來與帝斯曼集團合資(POET-DSM)將於美國愛荷華州設立一座二代纖維酒精的商轉廠，稱之為『Project LIBERTY』，

利用農業的廢棄物作為料源，總年產量預估為 2000~2500 萬加侖酒精，該廠的建設是與 POET 所擁有的其中一間一代酒精廠(POET biorefining – Emmetsburg)共構，運作模式為一代、二代廠同步生產酒精，一代廠附帶生產乾玉米酒粕作為增值副產品，二代廠的廢棄物如木質素等，投入電力及蒸汽生產，供給兩座廠使用。



圖 7 POET – DSM 纖維酒精商轉廠

Big River Resources 目前在全美共有四座生質酒精廠，其個別年產能約在 1 億加侖左右，值得注意的是目前正在興建另外一座生質精煉廠，其主要產品除了酒精以外，還有 Zein 蛋白質作為主要產品，此種蛋白可從玉米提煉出來，隨後玉米再投入酒精生產製程，此種蛋白質可用在口香糖、食品包裝、抗氧化劑、生物可分解塑膠材料、奈米材料、醫學用材料的製作。

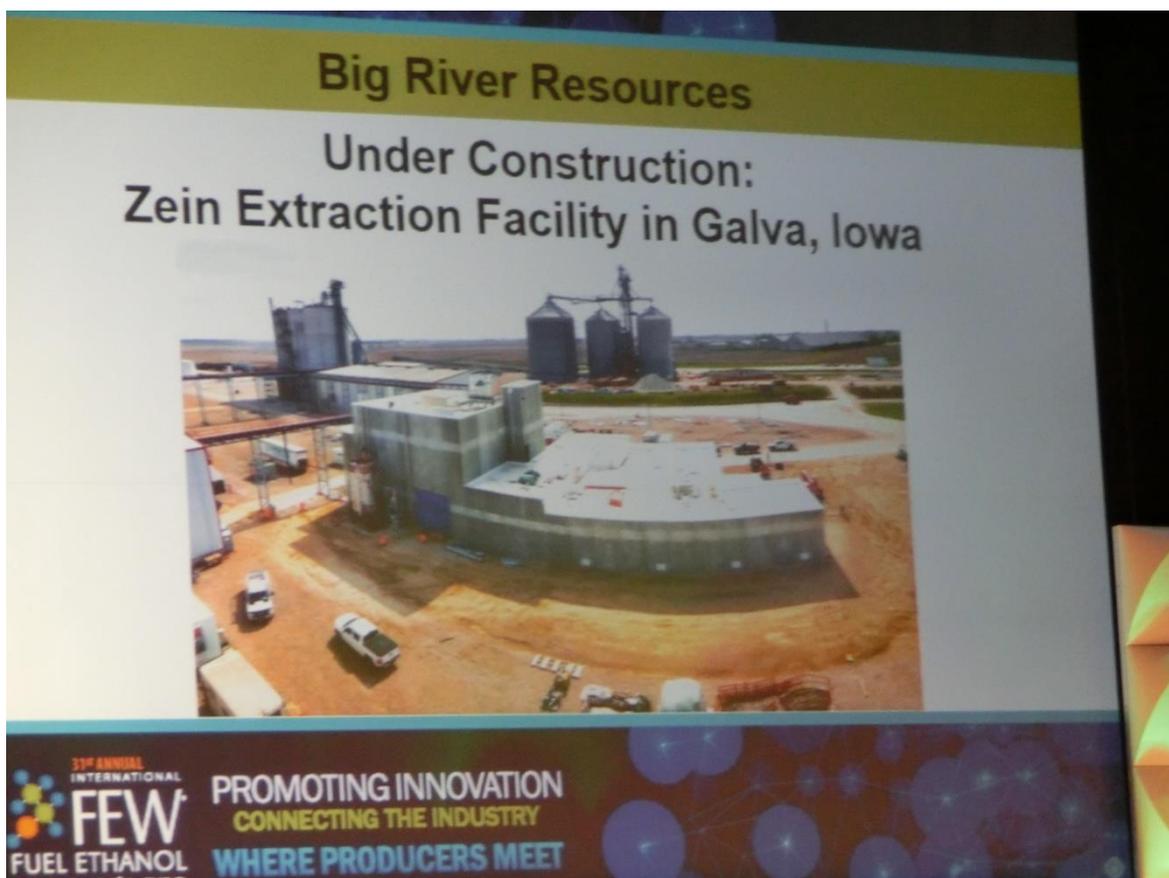


圖 8 Zein 萃取精煉廠

在會議當中主持人進行提問，提到先前的主軸座談會中對於美國國家環境保護局的新提案相當不以為然，也不太認同政府的政策導向，對於產業界的幾位代表來說美國國家環境保護局如此訂定政策的主要原因或是動機有可能是甚麼？對於這個提問，幾位代表的回答是政府的官員在訂立政策前所做的功課不足，在蒐集並分析相關數據時，並沒有採取客觀並全面的分析，反而只針對某幾個觀點作研究，忽略減少溫室氣體排放與環境保護的大原則，代表

們認為官員們的觀點太著重於糧食生產和生質酒精生產之間的競爭，在美國全境具有經濟與商業規模的生質酒精廠大部分是以玉米等糧食作物作為料源，這使得官員在評估生質酒精產量與需求量時不得不考量與民爭糧的可能性，然而糧食危機、農地短缺和農業人口不足等等的議題在酒精生產業者看來不過是化石能源業者們所提出的假議題，事實上以全球的觀點來看，的確存在著糧食危機，在某些國家和區域糧食短缺問題嚴重，然而在美國境內比較需要注意的反而是糧食資源的浪費問題。在美國雖然一代生質酒精正蓬勃發展，同時也是業界主流製程，不過產業代表們也提出二代纖維酒精的確有發展的必要性，因為二代纖維酒精所使用的料源主要是農業、林業廢棄物或是非糧食的纖維料源，站在永續發展及資源再利用的觀點來看，二代纖維酒精能處理更多元的料源且也適合在糧食作物較短缺的國家和區域，另外二代纖維酒精的主要副產品為木質素，木質素最直接的利用方式即是燃燒生電，因此二代纖維酒精廠除了能生產燃料酒精外，也能產生電力提供給一代生質酒精廠或是工業、民生用電。因此 DuPont、Abengoa Bioenergy 和 POET 等公司皆致力於發展二代纖維酒精。

另外主持人也提到，目前一代生質酒精在美國已發展到相當程度，澱粉轉化酒精的產率很高，未來將如何能讓酒精產業永續經營下去，產業代表們均表示，除了生質酒精作為主要產品外，副產品的開發對於一座生質精煉廠經營也是相當的重要，一項增值化的副產品可使整個製程的獲利增加，而在美國的生質酒精廠最主要的副產品是乾玉米酒粕(Dry Distiller Grains, DDGs)，乾玉米酒粕為玉米經過澱粉糊化、微生物發酵後所剩下來的固渣，一般取得是來自於酒精發酵液的分離，因糖質已被利用完，因此乾玉米酒粕的蛋白質含量很高，可以用作動物飼料的添加劑，如何提升乾玉米酒粕的營養價值將是提升整廠獲利的重要關鍵。另外除了乾玉米酒粕外，玉米油(corn oil)及高價值的蛋白質都是值得開發的增值化副產品，如

Big river 公司即致力於發展 Zein 蛋白質的萃取，該公司對於此蛋白質能帶來的獲利非常有信心，加值化的副產品將能使酒精能源產業更加的多樣化。另外對於酒精產業的經營策略，代表們的建議是須按部就班，先想辦法使工廠能獲利，藉由賣酒精、電力或是副產品皆可以，獲利之後應再投資研發部門，藉由開發新的發酵菌株和酵素，利用耐受性更強的菌株和酵素，提升整廠的轉化率和產率。



圖 9 展覽會場之玉米及其副產品

最後提到 2014 對於燃料酒精產業來說是相當振奮的一年，一整年的獲利相當好，然而個人認為應是 2014 年國際油價攀升，使得在美國境內相較之下較便宜的酒精汽油有更多的銷售市場，這些跡象皆顯示目前在美國能源產業生態是化石能源產業與再生能源產業的一場角力，而政府的政策導向將會大大影響其中一方的市場。

座談會與圓桌會議結束之後，在下午緊接著參加本次大會的主題演講，大會主題主要分為四項：酒精生產與作業程序(Track 1: Production & Operations)、酒精產業之財務管理與營運風險評估(Track 2: Leadership & Financial Management)、副產品與產品多樣性開發可行性(Track 3: Coproducts & Product Diversification)、纖維及酒精產業面向(Track 4: Cellulosic & Advanced Ethanol)等，每項主題皆集結了生產酒精的企業及專家共同討論燃料酒精未來在政策、技術及產業化推廣的發展走向。

下午首先參加的是第四項主題：纖維及酒精產業面向(Track 4: Cellulosic & Advanced Ethanol)，演講者包含有 Aaron Hawkins (Novozymes North America 研究員)、James Bleyer (Valicor Inc.專案工程師)、Delayne Johnson (Quad County Corn Processors 執行長)、Peter Reimers (Arisdyne Systems 執行長)，其講題如下列所示：

Track 4: Cellulosic and Advanced Ethanol

Grabbing that Next Rung: Advanced Ethanol Production for Existing Starch Producers

Moderator: **Brendan Jordan**, Program Director, Bioenergy and Transportation, Great Plains Institute

- **Aaron Hawkins**, Scientist - TS Biomass, Novozymes North America
Use of Innovative Enzyme Technology for the Generation of Advanced Biofuels from Grain
- **James Bleyer**, Project Engineer, Valicor Inc.
Fiber Recovery and Hydrolysis: Platform for Cellulosic Ethanol
- **Delayne Johnson**, CEO, Quad County Corn Processors
Cellerate Process Technology
- **Peter Reimers**, President & CEO, Arisdyn Systems
Fiber and Starch Co-Fermentation

首先第一位講者來自於 Novozyme 公司，該公司為世界知名之酵素生產開發的大廠，本次主要介紹 Novozyme 所開發的酵素可以使得更多的玉米澱粉釋放出來而被微生物利用，隨著酵素生產製程的不斷精進，在未來可預期酵素成本將持續下降，例如由 Novozyme 公司開發之 Ctec3 酵素即為 Ctec2 酵素的升級版，其活性增加數倍之多，意味著酵素使用成本及酒精生產成本隨之下降，下圖為該公司所評估未來的酵素成本趨勢。

Unlocking synergy at scale for lower enzyme-use cost

Illustrative projections of future costs

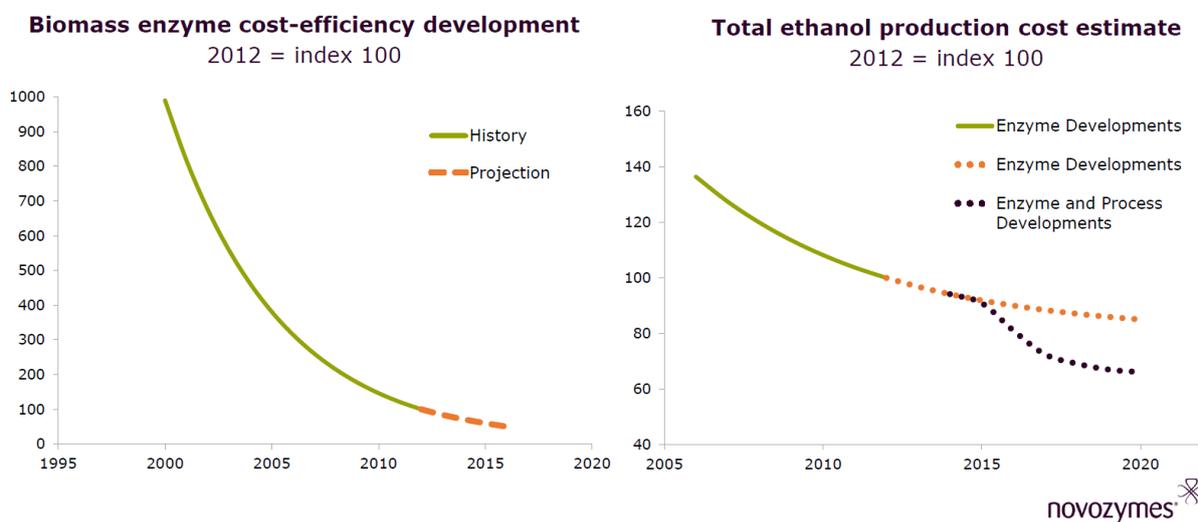


圖 10 酵素成本預估圖

另外，該公司也研發出一種新酵素 Spirizyme® 可以使被束縛在玉米纖維上的澱粉釋放出來，增加酒精的產率，藉由此酵素的作用可增進 1~2.5% 的酒精產率，降低 2% 的能源消耗，下圖為 Spirizyme® 酵素作用的示意圖。另外講者也提到在玉米的結構中，除了澱粉、蛋白質、油脂外，還有玉米纖維(corn fiber)約占 8%，以一座年產能 2500 萬加侖的廠而言，若是利用水解技術應用玉米纖維生產酒精，可再提升約 210 萬加侖的年產量，且相較於一般纖維料源，如玉米稈，玉米纖維只需三分之一的酵素劑量進行水解作用。

Cellulase in the mash: releasing more starch

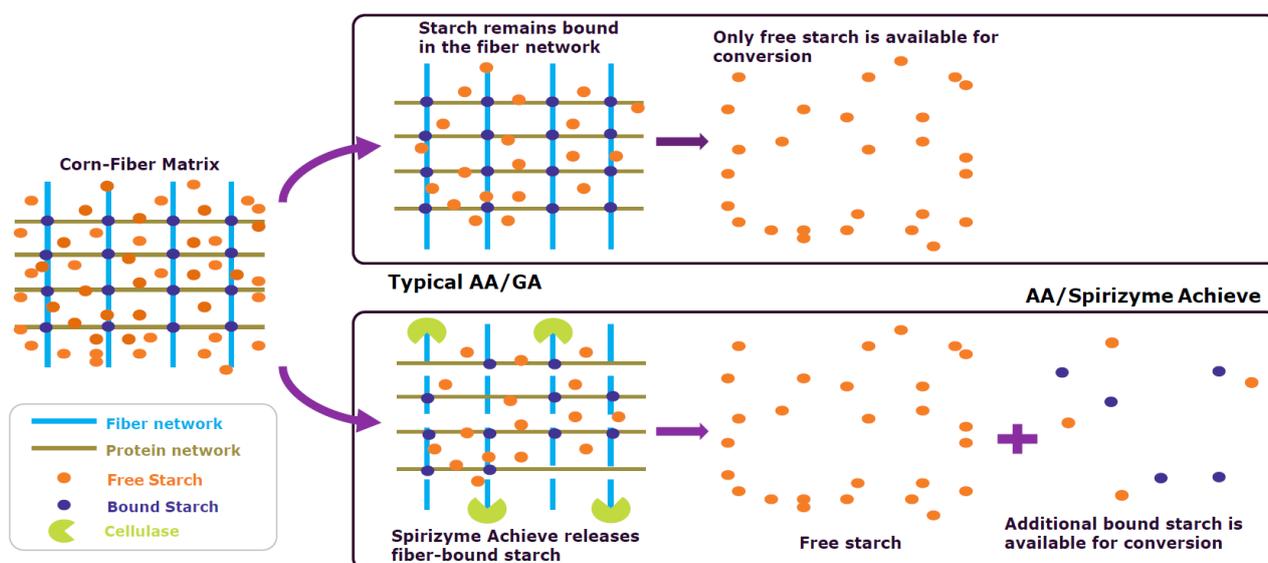
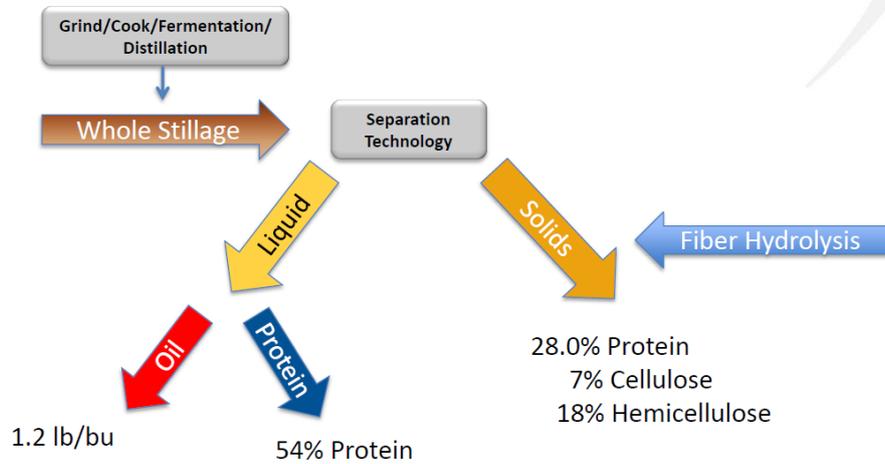


圖 11 Spirizyme® 酵素作用示意圖

下一位講者來自 Valicor 公司主要講述副產品的精製可以增進酒精廠的獲利，利用纖維水解的方式增加副產品的蛋白質含量，其賣價也能跟著增加，且對於原先的酒精製程不需做太大的改變。該公司推薦的製程如下圖所示，其核心在於分離技術，先將酒精發酵液送進蒸餾萃取製程，接著將蒸餾塔底液(whole stillage)進行固液分離，利用纖維水解技術把剩餘纖維移除，提升副產品的蛋白質含量。藉由此製程可使原來約 23.5~24.5%的蛋白質含量提升至 28%。

VFRAC®

Stillage Processing Suite of Technologies

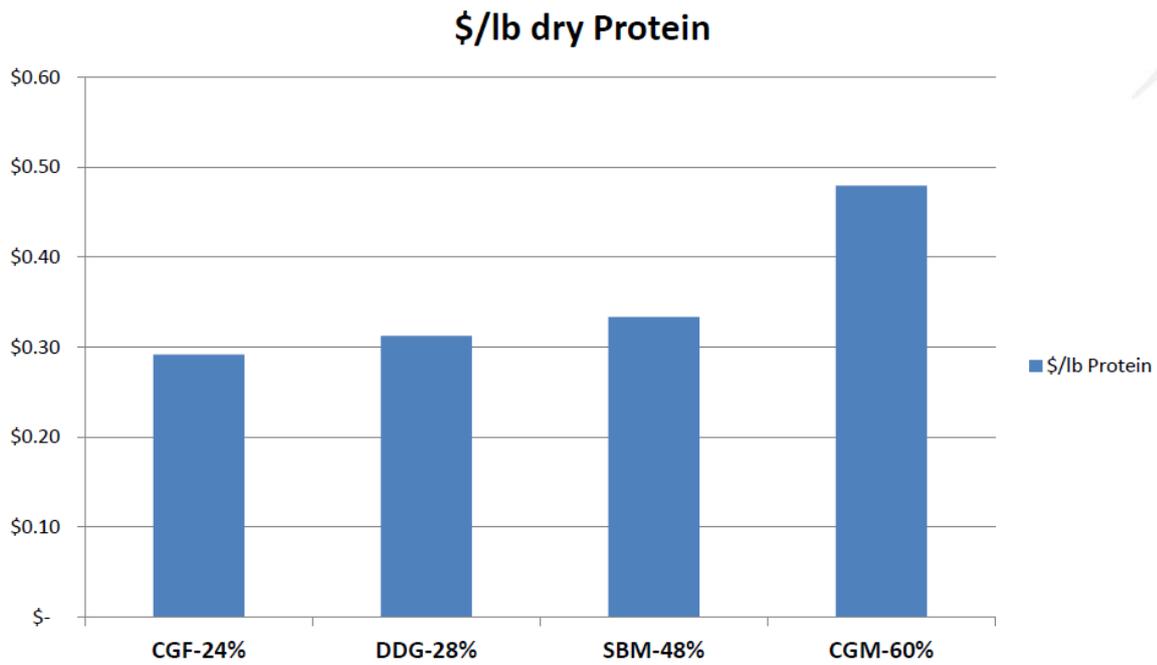


16

VITAL FOR TOMORROW **Valicor**

圖 12 Valicor 公司副產品加值製程

副產品如乾玉米酒粕、玉米麩質(Corn gluten feed, CGF)等都可用在動物飼料的添加，此類副產品的核心價值來自於粗蛋白質(crude protein)含量，含量越高售價也越高。售價分析如下圖所示。講者另以一座年產能 5500 萬加侖的廠為例，如帶入副產品加值的製程，增加副產品的多樣性，不僅有乾玉米酒粕、高蛋白產物 and 纖維糖，可使原來獲利 9 萬 6000 元提升至 11 萬 2200 元，如下圖所示。



VITAL FOR TOMORROW

圖 13 副產品售價分析

		Base*	Min. High Protein Production	Max High Protein Production
DDG	tons/day	480	440	375
DDG Price	/ton	\$ 200.00	\$ 200.00	\$ 200.00
High Protein	tons/day		40	75
High Protein Price	/ton		\$ 400.00	\$ 400.00
Cellulosic Sugar	tons/day			30
Sugar Value	/ton			\$ 240.00
RIN Value				
Total Revenue	/day	\$ 96,000.00	\$ 104,000.00	\$ 112,200.00

*55 MGPY ethanol

VITAL FOR TOMORROW

圖 14 副產品獲利分析

下一位講者來自 Arisdyne Systems，該公司開發一套處理方法可以破壞玉米結構，使玉米內的纖維與澱粉質同步一起發酵生產酒精，其原理為利用機器設計使玉米通過時產生壓力差，藉由此壓力差破壞玉米內部結構，此現象稱為 Popcorn Effect，如下圖所示。

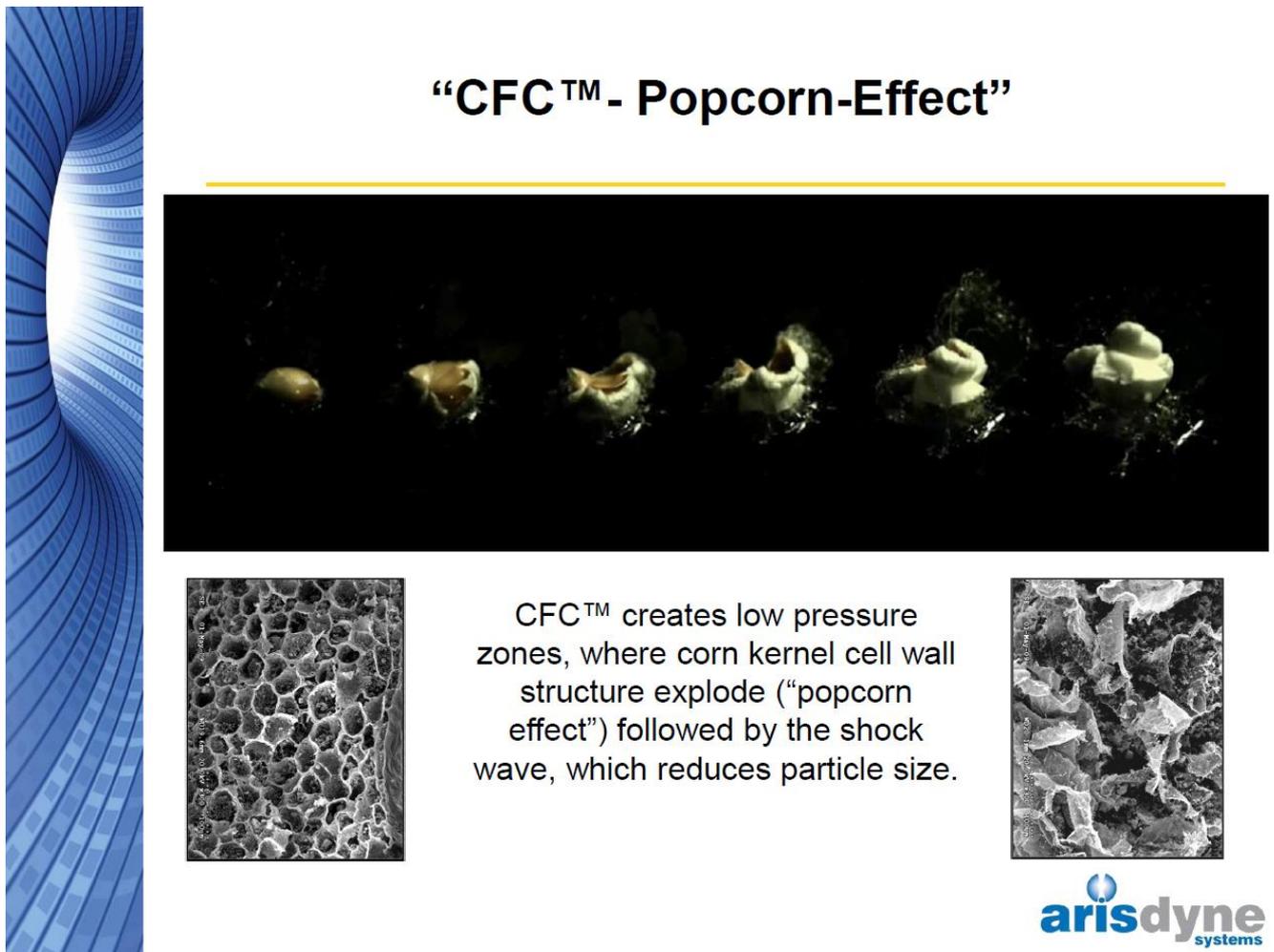


圖 15 Popcorn effect 示意圖

接著參加第三項主題：副產品與產品多樣性開發可行性(Track 3: Coproducts & Product Diversification)，演講者包含有 Milan Hruby(DuPont Industrial Biosciences 技術經理)、Jennifer Aurandt(Valicor Inc 研發專案經理)、Michael Franko(Fluid Quip Process Technologies LLC 副總裁)、Ananda Nanjundaswamy(Alcorn State University 助理教授)，其講題如下列所示：

Track 3: Coproducts and Product Diversification

Leveraging New Production Approaches to Produce Higher Value Feed Coproducts

- **Milan Hruby**, Regional Technical Manager, DuPont Industrial Biosciences

Effect of Specific Fiber-Hydrolyzing Enzymes on DDGS Quality

- **Jennifer Aurandt**, R&D Program Manager, Valicor Inc.

High Protein Product from Stillage: Path to Market Development

- **Michael Franko**, Vice President, Business Development, Fluid Quip Process Technologies LLC

Protein Coproducts: Determining their Value Proposition

- **Ananda Nanjundaswamy**, Assistant Professor, School of Agriculture, Research, Extension and Applied Sciences, Alcorn State University

Plain Feed to Platinum Feed: Nutraceutically Enriched Coproducts the Way Forward

第一位講者來自杜邦公司，主要講述如何提升乾玉米酒粕的營養價值，在酒精發酵的過程中加入纖維水解酵素移除纖維，增加蛋白質占有比例，藉由這樣的製程所製造出來的玉米酒粕稱為 FHP DDGs，而傳統製程製造出來的稱為 TP DDGs，從組成分析得知 FHP 可增加 3.9% 的蛋白質、12.5% 的粗脂肪，減少 29.6% 的粗纖維，從動物實驗的結果得知 FHP 可以多提供 9% 的代謝能量給動物，因此從成本的考量來看，FHP DDGs 的確有市場競爭力。成本分析如下圖所示。

Economic scenarios – young turkey diet

Ingredients	Cost, \$/cwt	No DDGS, %	TPDDGS, %	FHP DDGS, %
Corn	6.39	52.15	47.29	48.31
SBM, 48%	15.7	34.21	29.31	28.88
DDGS	8.75	0	10	10
MBM, 55%	20	6	6	6
Wheat	8	3	3	3
Fat	23.75	1.65	1.49	0.86
DCP	27.5	1.03	0.77	0.77
Limestone	4	0.75	0.95	0.95
Other	Variable	to 100	to 100	To 100
Cost \$/ton		233.1	225.7	223.1

FHP DDGS have ~11% greater value vs. TP DDGS

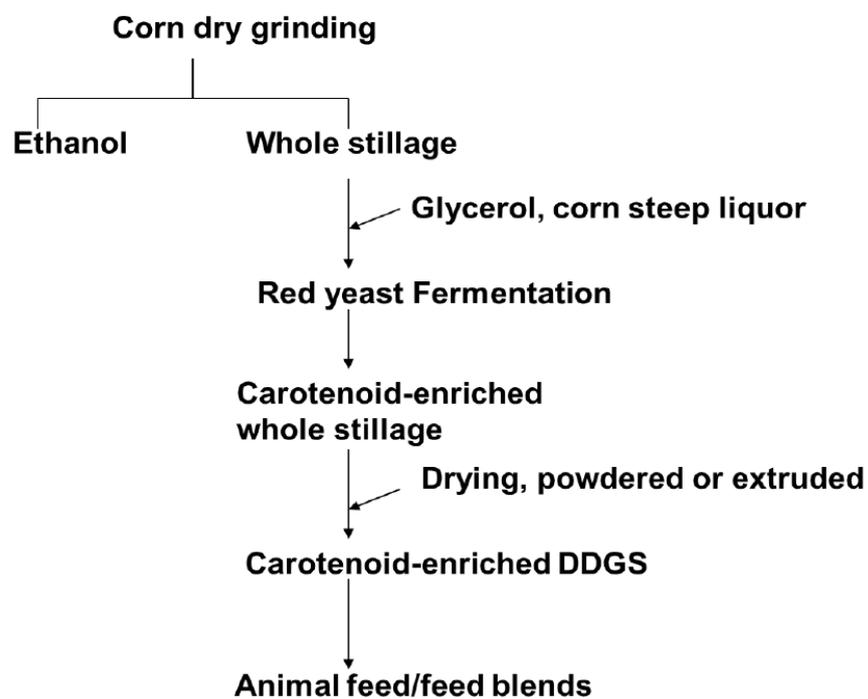
April/May 2015 Midwest ingredient pricing

圖 16 FHP DDGs 成本分析圖

下一位講者是來自 Alcorn state University 的助理教授，對於提升玉米酒粕的價值，他提出另外一種看法。美國是全世界最大的玉米酒粕製造國，一年約可生產 40 億噸玉米酒粕，而其最主要用途是動物飼料，在美國境內用在牛隻的飼料約 80% 以上，剩餘約 7% 用在豬隻，5% 用在家禽，且在愛荷華州、伊利諾伊斯州、內布拉斯加州、南達科他州及威斯康辛州玉米酒粕的售價約在 170~180USD/噸，講者認為除了玉米酒粕原先的營養價值外，可以利用生物法的方式加入類胡蘿蔔素，增加其營養價值與售價，類胡蘿蔔素可以用在食品、動物飼料、色素及保健藥品，2010 年類胡蘿蔔素在全球約有 12 億美金的市場，市面上類胡蘿蔔素的製造方法主要為利用微藻或是紅酵母菌發酵，但其困難點在於原料、萃取方法、後續加工處理

都耗費成本，講者提出直接利用玉米酒粕發酵生產類胡蘿蔔素，藉此增加玉米酒粕的營養價值，從結果來看利用紅酵母菌發酵，減少了約 60~70%的粗纖維，在玉米酒粕中增加了類胡蘿蔔素約 240 μ g/g DDGS，這樣的結果可以使售價提升至 200USD/噸以上，下圖為類胡蘿蔔素製程及實驗成果。

Carotenoid-value addition



Ananda & Vadlani, 2011 US Patent Application WO2012078256 A1

11

圖 17 類胡蘿蔔素製程

Fermentation



38

圖 18 紅酵母菌發酵成果

接著參加第四項主題的第二場，本場邀請的演講者有 Jamey Cline(Christianson & Associates PLLP 事業發展處長)、Doug Dudgeon(Harris Group Inc. 副董事長)、Philip Madson(KATZEN International Inc. 董事長)、Jeremy Javers(ICM Inc. 研發員)，講題如下列所示：

Track 4: Cellulosic and Advanced Ethanol

Cellulosic Go/No-Go: A Conversation about Evaluating Investments in Next Generation

Ethanol Production

Moderator: **Scott McDermott**, Partner, Ascendant Partners Inc.

- **Jamey Cline**, Business Development Director, Christianson & Associates PLLP

Technology Options Abound: How to Evaluate the Alternatives

- **Doug Dudgeon**, Vice President, Harris Group Inc.

Matching Project Goals and Contracting Strategy

- **Philip Madson**, President, KATZEN International Inc.

Strategies for Commercialization of Bio-based Technology: Evolution or Revolution?

- **Jeremy Javers**, Principal Research Scientist, ICM Inc.

Line of Sight to Cellulosic Ethanol

講者來自於 KATZEN International Inc. 公司，對於纖維及酒精產業的未來發展與挑戰，他首先提出的論點是整個北美地區的酒精生產陷入了玉米原料的框架內，這樣導致的潛在風險為若是玉米售價增加，勢必酒精工廠的操作成本也會跟著增加，進而影響到產品的售價，如此一來將不易以低價與其他的燃料做競爭，然而在多年以前即有人提出要解決這個潛在的風險，而解決的辦法則是發展二代纖維酒精，意即酒精生產的料源從木質纖維而來，例如農業、林業的廢棄物或是非糧食料源，講者認為此概念確實有發展的優勢，但已提出多年卻尚未見到成效，主要是二代纖維酒精的技術從科技研發到商業運轉有一段很長的路要走，原因是雖然從糖質到澱粉再到木質纖維料源，原料成本越來越低，但是技術的複雜性和困難度也跟著在增加，因此投資的成本也必須增加，造成投資者的意願降低，轉向專注發展第一代生質酒精。

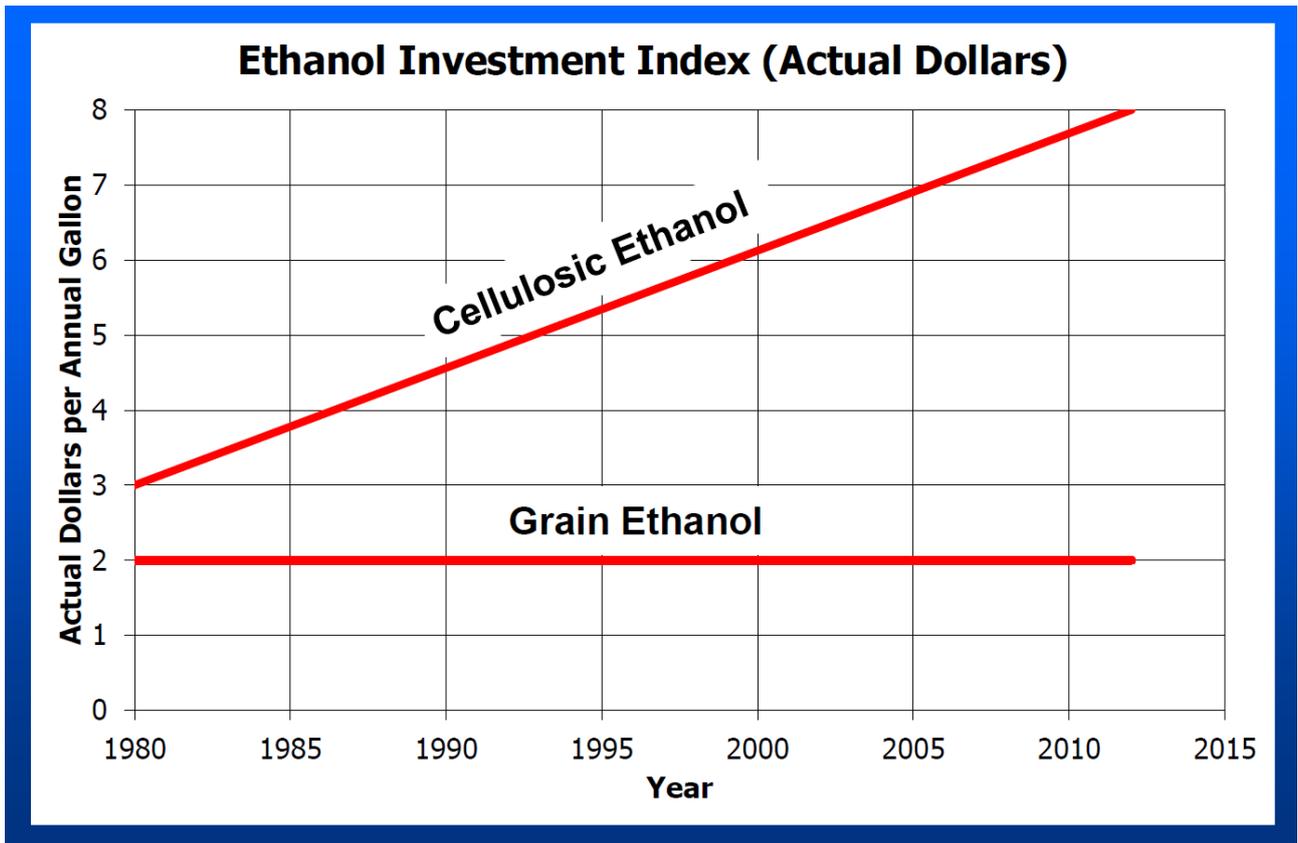


圖 19 二代纖維酒精投資成本示意圖

接著提到要解決此現象的辦法是使用替代玉米的料源，也就是 1.5 代生質酒精，利用甜菜、甜高粱或是番薯的料源取代玉米，開發多樣性的料源才能避免受到料源價格影響，且產品部分應朝向生質化學品(bio-based chemicals)發展，從投資指標來看，二代纖維酒精因為技術瓶頸等成本因素不太被看好，但特用化學品卻非常值得投入生產，如下圖所示。

Bio-products Economics

<u>Product</u>	<u>Example</u>	<u>Value \$/gal.</u>	<u>Invest Index*</u>
Fuel (EtOH)	Gen 1	2	1
	Gen 2	2	4
Chemical	n-Butanol	5-7	.3-.7
Spec chem	Flavors	500-1000	.1-.4

***Invest index = capex ÷ revenue**

圖 20 產品投資指標

第四天：

6月3日(星期三)：參加主題演說(concurrent track)。



圖 21 主題演說現場

首先參加第四項主題的演說，本場邀請的演講者有 Nicklas Bonander(Taurus Energy AB 研究員)、Thomas Jeffries(Xylome 董事長)、Allan Froehlich(Mascoma LLC 資深研究員)，其講題如下列所示：

Track 4: Cellulosic and Advanced Ethanol

Starch Ethanol's Cellulosic Sequel Also Begins with Biology

Moderator: **Eric Sumner**, Technical Business Development Manager, Anitox

- **Nicklas Bonander**, Principal Scientist, Taurus Energy AB

Taurus XyloFerm® Yeast Technology Offers More Efficient Cellulosic Ethanol Production

- **Thomas Jeffries**, President, Xylome

Novel Yeasts for Cellulosic Ethanol Production

- **Allan Froehlich**, Senior Research Scientist, Mascoma LLC

Advanced Yeast Biocatalysts for 2nd Generation Ethanol Production

第一位講者 Nicklas Bonander 來自於 Taurus Energy AB 公司，主要講述在發展二代纖維酒精時，生產酒精的酵母菌株應具有甚麼樣的能力和該公司目前研發的菌株現況。在研發二代纖維酒精需要用的菌株時，為符合整體經濟可行性，下列四點是必須注意的：

- 增進木糖發酵能力

由於木質纖維料源中除纖維素外，另外含有半纖維素與木質素，半纖維素可被分解為木糖，木糖屬於五碳糖，而一般常見之酵母菌皆以代謝六碳糖(葡萄糖)產生酒精為主，因此必須使酵母菌具備代謝木糖產生酒精的能力，且代謝的速率不能太慢才能符合整體經濟效益。

- 使木糖醇或是其他副產物的產出最小化

由於纖維素、半纖維素分解出來的葡萄糖、木糖是二代纖維酒精的主要來源，因此必須避免菌株於代謝時將糖類轉化成其他物質，如木糖醇，以增加酒精的產率。

- 適應木質纖維料源衍生出的抑制物

如上述，木質纖維料源組成較為複雜，將木質纖維分解成小分子的過程中，常伴隨著一些發酵抑制物的生成，如糠醛化合物或是有機酸等等，且這些抑制物難以與糖類分離，因此菌株在代謝生產酒精的同時，必須具備一定程度的抑制物耐受性。

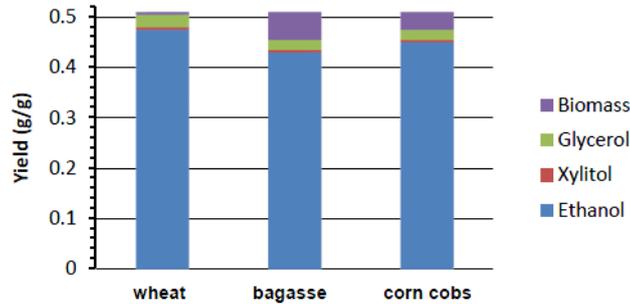
- 在高基質濃度下仍能正常作用

在產量與產能的需求下，菌株必須要能在高基質濃度環境下正常代謝。

Taurus Energy AB 公司所研發的新菌株 *XyloFerm*® T13 即具備上述代謝木糖的能力且副產物產率小於 3%，而在測試不同物種料源時，包含麥稈、玉米芯與蔗渣，在 48 小時的發酵時間內，酒精產率均能到達 0.4~0.5g/g 總糖。如下圖所示。

3. Lignocellulose Fermentation with *XyloFerm*[®]T13

- Low by-product formation
 - Xylitol < 1% of consumed xylose
 - Glycerol < 3% of consumed glucose+xylose
- High ethanol yields



- Anaerobic lignocellulose fermentation with low by-product formation
- Main "by-product" fraction is yeast (=Biomass): 0.5-5% g/g

TAURUS
ENERGY

圖 22 *XyloFerm*[®] T13 發酵測試結果

之後參加當天第四項主題的第二場演說，本場邀請的演講者有 Daniel Hayes(Celignis Limited 處長)、Sabrina Trupia(National Corn to Ethanol Research Center 研發處長)、Jack Baron(Sweetwater Energy 董事長)、Barry Wortzman(GreenField Specialty Alcohols Inc. 事業發展副總經理)，其講題如下列所示：

Track 4: Cellulosic and Advanced Ethanol

Lignocellulose's Sweet Side: Converting Biomass Feedstocks into More Easily Processed

Sugar Streams

Moderator: **Kyle Althoff**, President, Equinox LLC

- **Daniel Hayes**, Director, Celignis Limited

Use of Near Infrared Spectroscopy for the Rapid LowCost Analysis of a Wide Variety of

Lignocellulosic Feedstocks

- **Sabrina Trupia**, Research Director, National Corn to Ethanol Research Center

Blending Feedstocks for Conversion into Fuels

- **Jack Baron**, President, Sweetwater Energy

The Sweet 7: Keys to Unlocking Your First Commercial 2G Project

- **Barry Wortzman**, Vice President, Business Development, GreenField Specialty Alcohols Inc.

GreenField's Answer to Producing Gen2 Sugars

GreenField 是一間來自加拿大的酒精生產業者，旗下共有四座以玉米作原料的酒精生產廠，總年產能大約 6 億 5500 萬公升酒精，然而該公司正逐漸轉型，其經營策略逐漸走向生物精煉，不僅僅生產酒精，玉米油萃取或是厭氧發酵生成天然氣均有涉獵，但重點擺在二代纖維酒精的生產，尤其是前處理技術(pretreatment technologies)的開發。二代纖維酒精(木質纖維原料)與一代(玉米原料)在先天條件上就有所不同，一代酒精理論產率大約有 465L/MT，而最佳產率可達到 89%的理論值約 415L/MT，但木質纖維本身結構複雜，包含纖維素、半纖維素及木質素，由於木糖易在熱環境下降解，木糖的回收一向都是挑戰，因此理論產率約 430L/MT，但實際最佳產率約理論產率的 74~77%約 315~330L/MT。開發一項回收到最大量的糖質及最少量抑制物的前處理技術就顯得相當重要，該公司已開發出兩階段不需加酸的前處理技術，其主要利用雙軸擠壓的設備進行兩階段前處理，第一段先萃取出木糖液，再經由第二段產出纖維固渣，目前已將此套系統應用在處理量 1 噸/日和 5 噸/日的測試廠及示範廠，廠區所使用之原料為木片。但在簡報及提問的過程當中，並沒有說明利用此方法產出的糖化效率及酵素

水解效果為何，也沒有說明利用纖維固渣或五碳糖液生產酒精的產率。下圖為前處理設備圖。

Demo Equipment System – Front View

GREENFIELD
SPECIALTY ALCOHOLS INC.



driven by nature

11

圖 23 GreenField 前處理設備

下午參加當天第四項主題的第三場演說，本場邀請的演講者有 Ken Hill (DuPont Industrial Biosciences 事業發展主管)、Christian Morgen (Leifmark 全球銷售總經理)、Patrick Foody (Iogen Corporation 執行副總裁)、Shekar Govindaswamy (Leaf Technologies 技術處長)，其講題如下列所示：

Track 4: Cellulosic and Advanced Ethanol

Assessing the Progress in Commercializing Cellulosic Ethanol Production Technologies

Moderator: **Eric Bober**, Principal, Nexant Inc.

Ken Hill, Business Development & Licensing Leader, DuPont Industrial Biosciences

Cellulosic Ethanol Innovation Starts Here

Christian Morgen, General Manager, Global Sales and Marketing, Leifmark

Guilt-Free Profits: Turning Cellulosic Ethanol Refining into a Highly Successful Low Carbon

Business

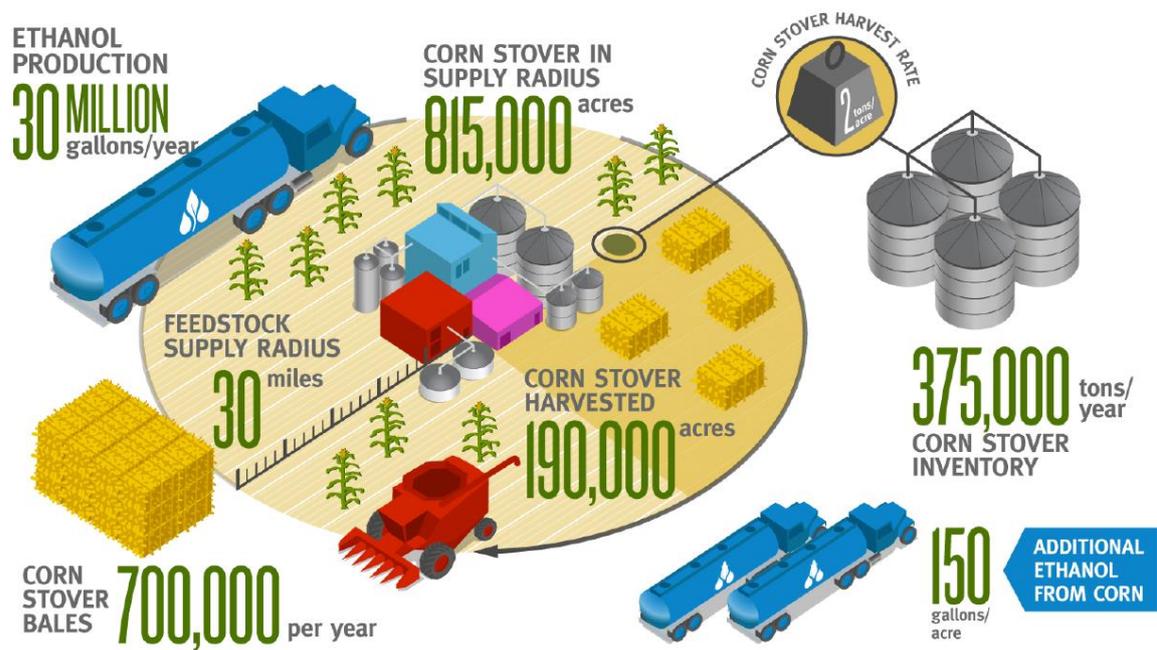
Patrick Foody, EVP, Advanced Biofuels, Iogen Corporation

Update on Iogen's Technology and Progress

Shekar Govindaswamy, Technical Director, Leaf Technologies

Advancements in Cellulosic Ethanol Fermentation

第一位講者來自杜邦公司，主要講述杜邦在生質酒精所貢獻的心力以及正在愛荷華州興建的二代纖維酒精廠，杜邦公司主力產業為化學品，近年來逐漸發展生物科技，如酵素生產或是生質酒精、生質化學品(bio-chemicals)，目前已在愛荷華州興建全世界產量最大的二代纖維酒精廠，如興建完成並全面啟動運轉，估計年產能將可達到 3000 萬加侖，生產出來的酒精不一定會全數用做燃料用途，有一部分可送至乙烯廠作生質 PET(bio-PET)的原料。二代纖維酒精所面臨的挑戰之一是纖維原料的預、前處理，預處理如乾燥、粉碎等等，而前處理則是利用化學或物理方法將原料中的纖維素、半纖維素釋放，使酵素、微生物可進一步水解發酵成產物酒精或是化學品，講者表示依據他們技術發展的經驗，預處理的步驟需要越少越好，盡可能在收割完畢後即可進入生產程序，減少成本消耗，而杜邦公司在愛荷華州的廠是利用氨水(ammonia)作前處理，講者稱此法成本較低，符合經濟效益，原料的部分則是選擇玉米稈(corn stover)，講者另外提到原料收割後的儲存方式也是在建廠時必需要研究的，避免原料再進入製程前出現腐敗。



Copyright © 2014 DuPont. All rights reserved 15

圖 24 二代纖維酒精廠運作示意圖



圖 25 興建中之二代纖維酒精廠

下一位講者來自 Leif mark 公司，主要講述 Inbicon 公司對於二代纖維酒精建廠的經驗與看法，Inbicon 公司多年來在二代纖維酒精付出不少的努力。在 2009 年二代纖維酒精的示範廠正式在丹麥啟用，至今已有相當多工廠生產運轉之經驗，他們提出如要再精進現有之生質精煉廠，一代與二代酒精共構是一個值得參考的選項。在本次展覽會當中，也遇到一些廠家有相同的看法，由一代酒精廠作為主力生產酒精，一代廠的原料採收後的纖維廢棄物送至二代廠做處理、發酵成酒精，發酵所剩下的殘渣可送去燃燒產生蒸汽供一代、二代廠使用，或是利用厭氧發酵的方式產生沼氣發電，在現今二代纖維廠的發展遇到重重阻礙下，共構廠的概念不失為一個解套的方式，同時也將從農地收割而來的作物做最大的利用。

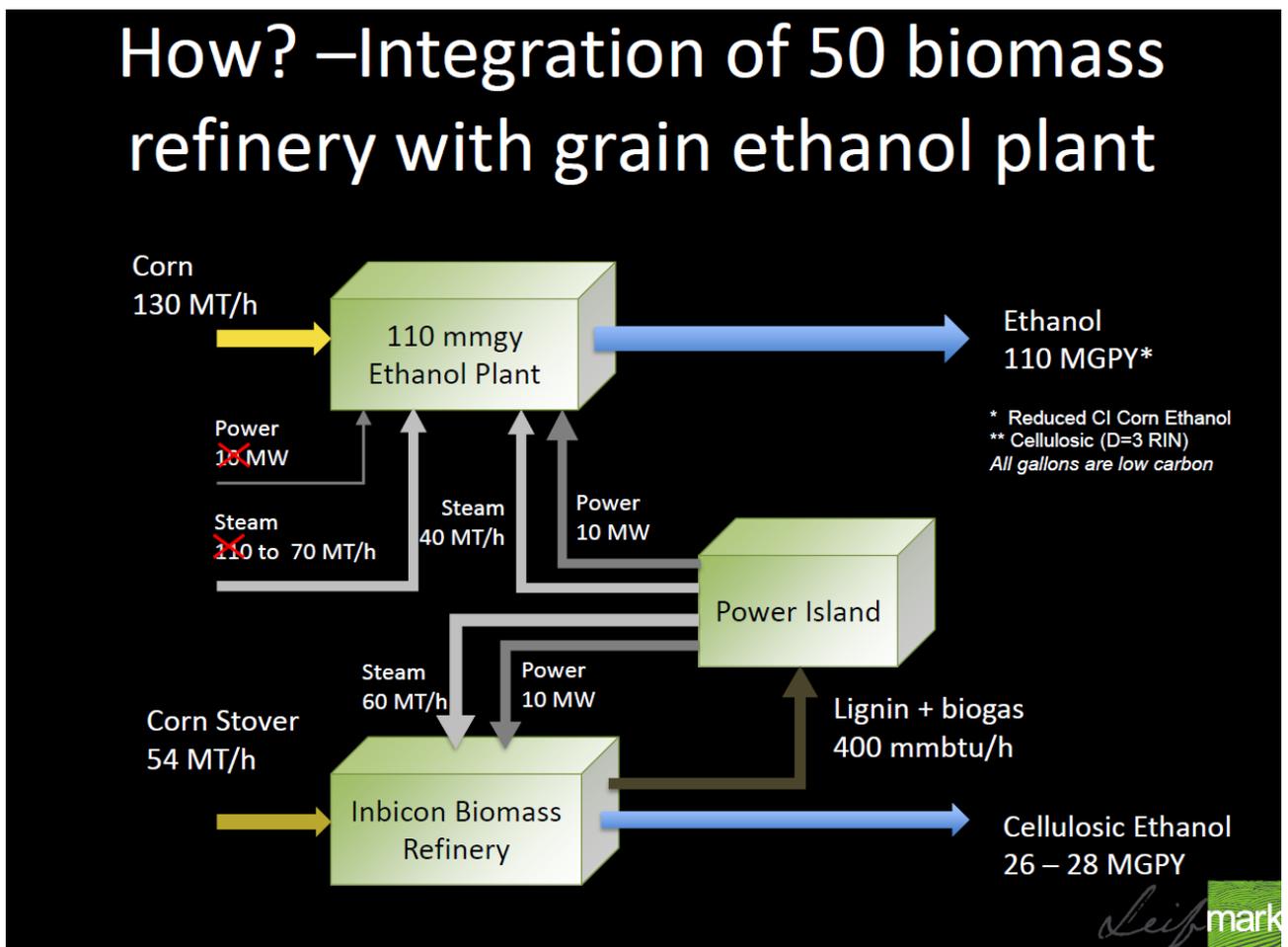


圖 26 一、二代共構廠示意圖

接著參加當天第四項主題的最後一場演說，本場邀請的演講者有 Robert Naidel (Lotus Mixers Inc./LOTUS Process Group LLC 副總裁)、Christopher Gerken (ICM Inc. 研究員)、Allison Talley (Enginuity Worldwide LLC 研究員)、M. Clark Dale (BioProcess Innovation 總裁及執行長)，其講題如下列所示：

Track 4: Cellulosic and Advanced Ethanol

Laying the Foundations for Cellulosic Success with Well Considered Pretreatment Strategies

Moderator: **James Hettenhaus**, Cofounder, cea inc.

Robert Naidel, Vice President, Lotus Mixers Inc./LOTUS Process Group LLC

Critical Mixers: Soak Tanks and Other Front End Tanks

Christopher Gerken, Scientist, ICM Inc.

Pretreatment Scale Up of Lignocellulosic Feedstock: Lessons Learned

Allison Talley, Biochemist, Enginuity Worldwide LLC

A Continuous Pretreatment Method using a Rotary Compression Dryer

M. Clark Dale, President & CEO, BioProcess Innovation

Low Temp Steep Delignification A Novel Pretreatment Technology: Pilot Results & Commercial Applications

講者來自 ICM Inc.，主要講述該公司在工程放大並連續操作 1300 小時的經驗以及對二代纖維酒精的看法，他們選用柳枝稷(switchgrass)作為纖維料源，並也提出與一代廠共構的概念，其優勢在於能提升農作物的利用價值和產品的產量。在運轉的過程中，他們使用稀酸做

前處理，並在固液比小於 20%的條件下操作，經評估後，高固液比的操作使得單位體積下的設備成本提高，且無法均勻攪拌混合，而低固液比的操作雖然造成用水量及能源的消耗且也需要更大型的設備，但講者認為這兩樣缺點都是可以被克服的，因此選擇小於 20%的固液比操作，在運轉中遇到了幾項問題：

- 纖維架橋作用

架橋作用會使得固料輸送產生瓶頸點，對於連續製程來說是一項很大的挑戰，適度的加入架橋破壞器為解決方法之一。

- 原料中的外來雜質

作物收割過程中常常混雜著其他物質，如碎石或是其他作物，如雜質較硬不易破壞，對於設備的耐用程度將造成威脅。講者採用的解決方法是將原料先經過水洗後，在進入生產程序，其優點是移除不必要的雜質，增進前處理效益。

- 冷卻與熱交換系統

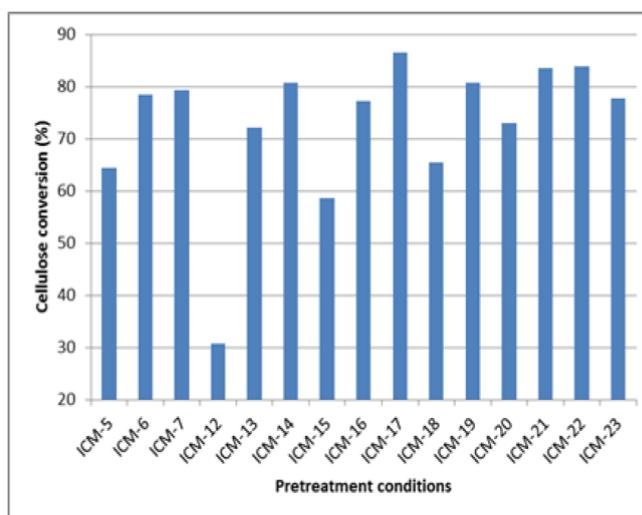
在酒精生產過程中，原料需經前處理、水解、發酵，各項程序均有其指定的操作溫度，因此如何在程序中達到良好的熱交換效率，也是必須研究的課題之一。

- 設備腐蝕

由於稀酸前處理法最主要的反應物是酸，因此設備的耐酸程度無疑是一大挑戰。建議設備建造應採用耐酸的不鏽鋼材質(如 SS316)。

最後運轉的結果纖維轉化率約有 96%甚至高於實驗室的結果 87%。如下圖所示。

- › **Lab hydrolysis**
 - 5-day shake flask
 - 87% glucan conversion
- › **Pilot-plant hydrolysis**
 - 96% glucan conversion



ICM 20 Year ANNIVERSARY

Generation 1.5 Grain Fiber to Cellulosic Technology™ and Generation 2.0 Separation Processes are patent pending.
© 2015 ICM, Inc. All Rights Reserved.

圖 27 連續運轉之結果

第四天：

6月4日(星期四)：參訪生質酒精工廠(Plant to Pump Tour)

本次參訪的工廠是 POET Biorefining 公司在明尼蘇達州水晶湖區所建置的玉米酒精廠，POET 是世界知名的生質酒精業者之一，以開發天然、可再生原料來源來替代石油化學品做為經營策略。其在生質燃料的生產、研發、工程化、市場銷售等層面均有相當不錯的成果，自 1980 年代起陸續興建生質精煉廠，至今共擁有 27 座生質精煉廠，本次參訪的地點是該公司所興建的第 21 座廠，生質酒精的總年產量約有 5000 萬加侖，該廠位於明尼蘇達州的中南部地區，自會議所在城市明尼亞波利斯(Minneapolis, MN)約 90 分鐘的車程，工廠位在一整片農田中，附近僅有一條公路及鐵路，鐵路的功能主要是載運工廠所生產出的產品乾玉米酒粕

(Dry Distiller Grain, DDG)，進入工廠之前，POET 公司人員先給我們一些樣品參考，樣品包含：玉米原料、主產品酒精、副產品玉米油、乾玉米酒粕等等，經觀察與解說後得知，玉米原料明顯與一般食用玉米不同，顆粒較大也較飽滿，其澱粉含量可達 80% 以上，是專門為生質精煉種植的玉米品種，到達工廠門口時，正好看見玉米粒以卡車載運的方式送入廠區，據了解一日約有 150 輛次的卡車將玉米運至工廠送入，每輛載重約 1~5 噸不等。



圖 28 POET Biorefining 樣品

進入廠區後，由 POET 公司人員分組帶領我們從原料端開始參觀工廠，值得注意的是，公司對於商業機密的保護做得十分確實，於廠區內不許使用攝影器材外，在參觀動線的設計上也盡量避開關鍵的設備與元件，解說人員表示該廠區雖每年需要生產約 5000 萬加侖的酒精，

整個團隊人數大約 40 人，且採用 DCS 控制系統進行全面自動化生產，因此全廠區運轉的控制與操作僅需約 4 人，在全自動化生產的同時，POET 在廠區內也設置了分析實驗室，對廠內的產品及中間產物進行品質管理，分析實驗室的人力大約兩人，主要分析設備以高效率液相層析(HPLC)為主。在廠區內共有 4 座約 200 噸的發酵槽，製程方面，從原料送入到酒精產出需耗時 48 小時。解說人員表示 POET 生質精煉廠的成功主要來自下列四項因素：

(一).專利製程「BPX」

BPX 專利製程是由 POET 公司所擁有的一項粗澱粉水解技術，有別於一般使用蒸汽加壓(jet cooker)的方式使澱粉裂解，BPX 可將酵素與菌株混合，降低水解的溫度。澱粉與酵素於管線中預先混合先進行作用，並在相對較低溫(37 度)的環境下進行水解，常見澱粉水解必須在 60 度以上，在水解的過程中再添加種菌進行同步水解發酵(Simultaneous Saccharification Fermentation, SSF)減少發酵的時間，採用 BPX 專利製程可節省 8~15%的能源消耗，並可增加酒精產量 0.10 ~0.15 gallons per bushel，此製程已於 2004 年運用於商業規模製程，並套用在 24 座生質精煉廠內，且已通過美國國家環境保護局認可，符合再生燃料規範。

(二).無抗生素產品

從 POET 生質精煉廠所產出的副產品乾玉米酒粕，經驗證不含抗生素，主要是因為 POET 所開發的酒精生產製程與傳統製程不同的是不需額外添加抗生素，不含抗生素的副產品其利用性與經濟價值也較高。

(三).水回收

在廠區附近水資源的取得不易，因此在降低工廠操作成本的前提下，POET 公司研

發全水回收的技術，在廠內的水循環系統做到零排放廢水。減少用水產生的成本。

(四). 產品運輸技術

POET 所擁有的運輸技術專利「Load Toad」使乾玉米酒粕可以平均負載於鐵路運輸的貨櫃上，藉由這項技術可使每輛貨櫃的載重增加 3.5~5.6 噸，減少運輸成本，在 2010 年已將這項技術應用在 20 座生質精煉廠，同時這項技術也可使用在裝載玉米澱粉、顆粒或是類似狀態的物品上。

在參訪過程中提問由於工廠採用全自動化生產，管線與槽體幾乎是密閉，如何在廠區內隨時做品質監控，解說人員的回應是在設廠時就先預留採樣口在廠區的各项製程中，使分析人員可以隨時監控產品品質。另外也問到除了水回收之外，對於發酵用的菌株是否也有進行回收製程，不幸的是解說人員對於這部分表達不方便透露。最後解說人員表示這座廠區之所以有這麼多的玉米料源可以使用主要是因為與當地的農民合作，確保料源的穩定性，生質精煉要能成功運轉必須與當地農業作密切的配合，藉由此種合作模式達到產量提升與農業人口、經濟提升的雙贏局面。

在由工廠回程的路上，另外參訪了一間供應酒精汽油的加油站，此加油站屬於明尼蘇達當地的汽車服務與修理公司旗下的品牌 Minnoco，業者與我們分享酒精汽油在當地的銷售狀況與市場應用的心得，E-10 酒精汽油在美國已經應用多年，2002 年後出產的汽車引擎已可以直接使用 E-10 酒精汽油，除了 E-10 以外，業者另外提供 E-15、E-30、E-85 酒精汽油給顧客選擇，其中使用 E-30、E-85 的汽車引擎必須經過修改測試，擁有認證標章的才能使用，因此是專屬於某些特定客戶群，近來 Minnoco 正式向客戶推廣使用 E-15，經過測試結果發現，E-15 對於汽車引擎的影響有限，與 E-10 相比幾乎不會影響引擎運轉，且酒精汽油在價格上也比一

般汽油便宜，在燃燒時辛烷值也比一般汽油高，因此在這些誘因之下，民眾對於 E-15 的接受度頗高，而業者自行評估旗下加油站的銷量，使用 E15 所佔的比例大約是 30~35%，使用 E30 的則佔 15%，顯見一般美國民眾對於酒精汽油已有一定的信心。另外業者也提到從 2011 年起美國的全國運動汽車競賽協會(NASCAR)全面使用 E-15 酒精汽油，因為酒精汽油的高辛烷值可以增加汽車引擎馬力，這對酒精生產業者來說無疑是一種肯定。業者最後提到政府在制定政策上面不能只考慮單方面，要鼓勵產業之間的互助合作，制定完善的配套措施，提倡並宣導使用低碳排放的能源，以減碳和改善全球暖化為主要目標，邁向人類經濟成長和環境永續發展雙贏的局面。



圖 29 NASCAR 現場展示



圖 30 Minnoco 品牌的汽油價格

三、心得

本次參訪行程前往美國明尼蘇達州參加 31th International fuel ethanol workshop & EXPO 與參訪 POET 生質精煉廠，了解美國本土生質酒精產業化成果與現況，還有未來酒精汽油的發產趨勢，參訪之心得如下：

(一). 玉米酒精為美國發展生質酒精之主流

經本次參訪觀察，美國本土的農地面積十分廣闊，農作物料源可說是相當充足，尤其又以玉米為最大宗，數十家生質燃料及生質化學品相關產業皆以玉米為料源，且以玉米生產生質酒精之技術不僅行之有年，技術程度也相當成熟，根據上述幾位演講者以及在博覽會交流之內容，由於生產酒精的基本製程已發展多年，如今技術的精進已逐漸走向尖端，即使是僅能增加產量或是增加水回收比率 1~2% 的新技術也值得投入研發，例如菌株、酵素和料源的功能強化、整廠經濟分析的模擬計算等等研發。對於一代生質酒精新穎製程的研發於參訪過程中較少見。

(二). 二代纖維酒精的挑戰與生存空間

誠如上述玉米雖然是北美地區最主要的生質料源，但也有部分學者專家擔心若是玉米價格飆升或是糧食面臨短缺該如何應對，二代纖維酒精則是應對方式之一，但二代酒精所面臨的問題來自於料源本身結構複雜，水解糖化技術門檻較高，需投資較大的操作及設備成本，而優勢則是料源成本較低，製程產出之廢棄物可用作發熱或發電，因此在美國雖以一代酒精為大宗，但已有企業開始投資建立二代纖維酒精廠，且最常見的運作模式是將一代、二代廠進行共構，以一代廠為生產主力，二代廠所

產生之熱能或電力供給廠區共同使用，減少能源消耗。

(三). 加值化副產品對營運的重要性

為增進料源的經濟效益，副產品的開發與銷售是一座生質酒精廠必須面臨的課題，因此參訪過程中觀察到許多學者與產業界人士相當注重副產品的價值，以玉米酒精為例，乾玉米酒粕就是最主要的副產品，如何藉由製程的精進來改善玉米酒粕的品質是現今業界人士非常關心的問題，因為加值化的副產品有助於提升整廠獲利，將利潤展現在酒精汽油價格上，藉以壓低酒精汽油售價，增進大眾購買使用意願。

(四). 菌株及前處理技術的進展

生物技術方面，業界目前著重於開發五碳糖發酵菌株或是五碳、六碳糖共發酵菌株，本次參訪過程中許多廠商均介紹開發五碳糖發酵菌株的進展，由於在纖維糖類組成中，六碳糖占比最高，其次則是五碳糖，一般酵母菌以代謝六碳糖生成酒精最常見，然而為提升酒精產量與開發二代纖維酒精所需，五碳糖代謝菌株逐漸受到重視，研究目標主要為：提升五碳糖代謝速率、菌株於水解液中的耐受性，菌株於不同料園的環境適應力。其中 **Xylome** 公司的做法則是從以啃食木片為生的甲蟲體內，找出可以穩定代謝五碳糖及六碳糖的菌株或基因，利用基因工程的方式增進代謝的效率和酒精的產量。前處理技術的發展以稀酸法、鹼法或是類似造紙業之前處理製程為主，杜邦公司所選用的前處理方法即為鹼法，**ICM Inc.**則是用稀酸法，也有部分學者專家以對環境無毒為前提而選用水熱法進行前處理，就本次參訪之經驗而言，纖維料源之前處理方式尚未出現主流技術，各研究單位及業界仍以各自的料源需求及成本、產品考量選擇前處理方式。較特別的是 **engenuity worldwide** 這間公司聲稱他

們開發一種前處理技術 Rotary Compression Dryer(RCD)利用熱力學原理破壞纖維結構，增進酵素水解效率，且不需額外提供熱源，但對於後續酒精產量，該公司並無作詳細說明。

四、建議事項

本次參訪之行程主要由 BBI International 公司所策劃主辦，BBI international 公司出版在業界頗負盛名的數本雜誌，如：Biomass Magazine、Ethanol Producer Magazine 和 Biodiesel Magazine 等雜誌，以非技術面而偏重商務考量的形式報導生質物於能源及加值化產品的應用、生質酒精產業資訊及生質柴油等訊息，供產官學界人士參考；除透過雜誌出版、網站提供即時資訊外，BBI international 公司每年更舉辦國際性生質能源相關產業研討暨博覽會，如國際生質物研討會、先進生質燃料研討暨博覽會及目前世界最大歷史最悠久的酒精產業博覽會 (International Fuel Ethanol Workshop & Expo, FEW)，邀請學術界、產業界相關人士參與，彼此交流討論心得與經驗。針對本次出國公差之心得與收穫，提出以下幾點建議：

(一). 為掌握生質精煉技術最新發展與落實計劃產業化推廣之目標，建議應密切注意會議

舉辦的相關訊息，多加閱讀出版之雜誌，並與出版業者建立良好溝通管道，嘗試藉由平面媒體增加本組技術之曝光度。

(二). 由於一代生質酒精是以糧食作物為主要原料，為減少一代生質酒精之料源風險，如：

單一料源價格飆升、特定地區或國家糧食短缺等等，二代纖維酒精技術仍是一項需產業化的技術，但因技術成本較高，初期可評估共構模式建廠，以取得獲利為首要目標，再考量技術精進。

(三). 副產品的銷售顯然對於生質酒精產業的利潤有非常大的影響，由副產品所衍生出的

利潤可協助壓低酒精售價，增進在市場上的競爭力。會議中許多業者紛紛提出副產品品質精進的方式，在美國因玉米料源豐富，仍以玉米相關的副產品為主，二代纖

維酒精的副產品主要為五碳糖或木質素，站在推廣二代纖維酒精技術的立場，五碳糖、木質素的品質提升及副產品開發應用對於整廠獲利十分重要。

(四). 世界各國所擁有之天然資源、人民生活型態、政治環境不盡相同，於落實技術推廣與產業化的同時，須先評估地區或國家的風土民情與天然資源分布狀況，訂定適當的建廠模式。

五、附 錄

本次會議發放之參考書刊

